



VI Congresso SulBrasileiro de Ciências do Esporte

“Pensando a Educação Física Escolar e Não-Escolar: estratégias na constituição de saberes”

13 a 15 de Setembro de 2012 - FURG

CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DA TEORIA DE GERAÇÃO DE FORÇA NA CORRIDA HUMANA

Marcela Alves Sanseverino,
Henrique Bianchi,
Jorge Storniolo,
Marcus Peikriszwili Tartaruga

RESUMO

O dispêndio energético da locomoção, segundo a teoria da geração de força muscular, tem relação com a magnitude e tempo de aplicação de força do pé com o solo. Deste modo, é possível prever a economia de corrida (ECO) a partir do tempo de contato (t_c) e do coeficiente do custo (c) em mamíferos quadrúpedes. O objetivo deste estudo foi correlacionar a ECO com o t_c e c em 13 corredores fundistas. A ECO e cinemática de corrida foram avaliadas em esteira rolante (6 minutos a $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). O c foi determinado a partir das equações de Kram & Taylor (1990). Foi realizada análise descritiva e coeficiente de correlação produto-momento de Pearson ($\alpha=0,05$). A ECO apresentou alta correlação com o c ($r=0,826$; $p=0,001$), porém, não apresentou mesmo comportamento com o t_c ($r= -0,263$; $p=0,385$), assim como o c em relação ao t_c ($r=0,319$; $p=0,288$). Diferentemente de estudos inter-espécies, o t_c não se correlaciona com a ECO de corredores, além disso, o c não é constante entre os sujeitos. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de novos modelos preditivos da ECO em corredores de rendimento.

Palavras-chave: economia de corrida, equação.

ABSTRACT

Based on the theory of force generation, the energy spent during locomotion has relation to the amount and time of force exerted by foot against the ground. Thus, it is feasible to predict the running economy (ECO) through contact time (t_c) and cost coefficient (c) in quadrupeds mammals. The objective of this study was to correlate ECO with t_c and c in 13 long-distance runners. The ECO and kinematics were assessed using a treadmill (6 minutes, $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) in the last 30 seconds of the test. The c was calculated by Kram & Taylor's equations (1990). A descriptive analyses and the Pearson's product-moment correlation coefficient were done ($\alpha=0.05$). The ECO presented high correlation with c ($r=0.826$; $p=0.001$), but did not show with t_c ($r= -0.263$; $p=0.385$), as well as the c in relation to t_c ($r=0.319$; $p=0.288$). Differently from interspecies studies, the t_c does not correlate with ECO, besides, the c is not constant among the subjects. Therefore, it is necessary to develop new mathematical models for ECO in elite runners.

Keywords: running economy, equations.



VI Congresso SulBrasileiro de Ciências do Esporte

“Pensando a Educação Física Escolar e Não-Escolar: estratégias na constituição de saberes”

13 a 15 de Setembro de 2012 - FURG

RESUMO

El gasto energético de la locomoción, según la teoría de generación de fuerza muscular, se relaciona con la magnitud y el tiempo de aplicación de fuerza del pie con el suelo. Así, es posible predecir la economía de corrida (ECO) a partir del tiempo de contacto (t_c) y del coeficiente del costo (c) en mamíferos cuadrúpedos. El objetivo de este estudio fue correlacionar la ECO con el t_c y el c en 13 corredores fondistas. La ECO y la cinemática de la corrida fueron evaluadas en cintas rodantes (6 minutos a 13 km.h^{-1}) en los últimos 30 segundos del test. El c fue determinado a partir de las ecuaciones de Kram & Taylor (1990). Fue realizado análisis descriptivo y coeficiente de correlación producto-momento de Pearson ($\alpha=0,05$). La ECO tubo alta correlación con el c ($r=0,826$; $p=0,001$), sin embargo, no hubo el mismo comportamiento con el t_c ($r= -0,263$; $p=0,385$), con también el c en relación al t_c ($r=0,319$; $p=0,288$). Diferentemente de estudios inter especies, el t_c no se correlacionó con la ECO de corredores, además, el c no es constante entre los sujetos. Así, se torna necesario desarrollar nuevos modelos predictivos de ECO en corredores de rendimiento.

Palabras-chaves: economía de corrida, ecuaciones.

INTRODUÇÃO

A economia de corrida (ECO) é a quantidade de energia despendida para carregar uma unidade de massa corporal em uma unidade de distância (ROBERTS *et al.*, 1998). Pode também ser definida como a capacidade de manter um alto percentual de consumo de oxigênio (VO_2) e um pequeno custo energético para correr em certa velocidade (FLETCHER, 2009). Sua avaliação tem sido utilizada no campo do treinamento físico, determinando limitantes de desempenho entre grupos homogêneos de treinamento (DI PRAMPERO *et al.*, 1986; MILLET *et al.*, 2002).

Além da avaliação direta, uma das formas de cálculo da ECO pode advir a partir da utilização de equações de predição. Elas baseiam-se a partir de variáveis cinemáticas como o deslocamento do centro de massa corporal e tempo de contato do pé com o solo, além da medida da massa corporal. Essas equações advêm da teoria de geração de força, a qual afirma que a energia metabólica despendida durante a locomoção é determinada fundamentalmente pela força aplicada contra o solo e sua duração (t_c), a fim de sustentar o peso corporal (TAYLOR *et al.*, 1980). A partir da teoria, Kram e Taylor assumiram três pressupostos para a criação das equações. Primeiramente, foi considerada que a maior parte da força produzida pelos músculos é uma ação oposta à gravidade. Somando-se a isso, o volume de músculos ativos gera a mesma quantidade força sem considerar a velocidade ou o tamanho do animal. E, por último, tem-se que os músculos trabalham de forma parecida com a relação força-velocidade sem considerar a velocidade de corrida e o tamanho do animal, isto requer fibras mais rápidas em velocidades mais altas, principalmente em animais menores porque o tempo para aplicação da força é menor (TAYLOR, 1985).

A primeira equação proposta por Kram e Taylor (1990) prediz a energia metabólica (E_{metab}) despendida durante a corrida relativizada pelo peso corporal (Wb). O c é uma constante denominada de coeficiente do custo, que expressa a proporção entre o tempo de geração de força e o custo energético específico ao peso corporal:

$$1. \quad E_{metab}/Wb = c \times (1/tc)$$

A segunda equação inclui a energia metabólica (E_{metab}), além do custo de transporte (E_{trans}). Esse custo pode ser definido como ECO , pois também possui relação com a distância percorrida (STOREN *et al.*, 2008). Na equação, v representa a velocidade:

$$2. \quad E_{trans}/Wb = E_{metab}/(Wb \times v)$$

A terceira equação expressa uma forma diferente de calcular a velocidade, a partir do tc e do deslocamento do centro de massa (Lc), resultando na velocidade relativa ao centro de massa:

$$3. \quad v = Lc/tc$$

Por fim, tem-se outra forma de calcular a ECO através da E_{trans} . Nesta, a E_{metab} foi substituída pela primeira equação e a velocidade foi substituída pela terceira equação:

$$4. \quad E_{trans}/Wb = c/Lc$$

Apesar dessas equações representarem análises inter-espécies, são poucos estudos que utilizaram esses cálculos apenas em humanos, enfatizando principalmente corredores de rendimento. Com isso, não há um consenso, entre a literatura específica, em relação à resposta dos modelos matemáticos propostos idealizados ao desempenho esportivo. Dessa forma, o objetivo do estudo foi verificar a associação entre o tc , o c e a ECO em corredores fundistas e descrever a correlação existente entre essas variáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra foi composta por 13 corredores do sexo masculino, com idade entre 20 e 40 anos. Eles possuíam experiência mínima de dois anos com provas de 10 mil metros. A coleta de dados foi realizada em dois dias diferentes. No primeiro, eles compareceram ao Laboratório de Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LAPEX-UFRGS), para a realização de uma avaliação antropométrica. No segundo dia, eles passaram por um teste de ECO .

Inicialmente, eram posicionados marcadores reflexivos no tornozelo (na tuberosidade lateral do calcâneo, na tuberosidade do quinto metatarso e no maléolo lateral) para facilitar a digitalização. Coletou-se o VO_2 *breath by breath* através da calorimetria indireta, com o equipamento de ergoespirometria MEDGRAPHICS *Cardiorespiratory Diagnostic Sistem* (MGC/CPX, USA) com software *Breeze 3,06* e calibrado anteriormente ao teste. Após a colocação dos marcadores, foi coletado o VO_2 do sujeito em repouso durante três minutos na posição sentada. Em um segundo momento, realizou-se a mesma medida na posição ortostática com o mesmo período de tempo. Finalizando esse processo, o corredor realizava um aquecimento em uma velocidade constante (10 km.h^{-1}). Posteriormente, o teste de ECO foi realizado, durante o período de seis minutos, em velocidade constante e submáxima de 13 km.h^{-1} . Essa velocidade correspondeu aproximadamente a 80% do limiar anaeróbio amostral, analisado durante o momento do teste.

Realizou-se a análise cinemática durante os trinta segundos finais do teste. Para esta análise, foram utilizadas quatro câmeras (CASIO – EX-FH25) com frequência de amostragem de 240 Hz. Elas posicionaram-se conforme ilustrado na Figura 1.

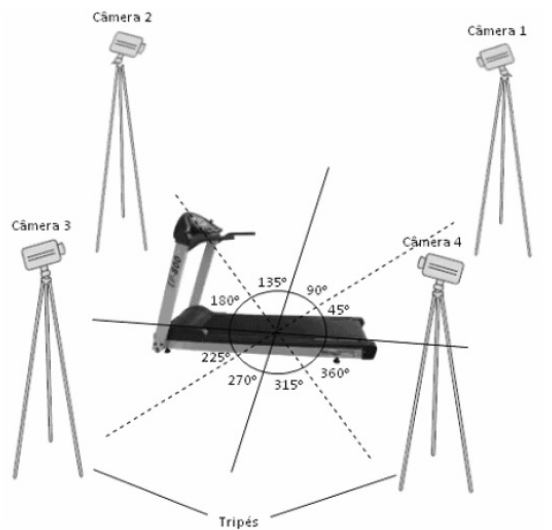


Figura 1 – Localização das câmeras

Para avaliar a *ECO*, foram usados os últimos três minutos do VO_2 registrado por. O cálculo foi feito a partir da média desses valores e diminuída pela média do VO_2 de repouso. O resultado da subtração foi multiplicado pela constante $20,1 \text{ J.ml}^{-1}$. Por fim, foi multiplicado pela velocidade de corrida do teste. Dessa forma, tem-se uma variável que expressa, a energia despendida para carregar uma unidade de peso corporal em uma unidade de distância (J.kg.m^{-1}).

Análise Estatística

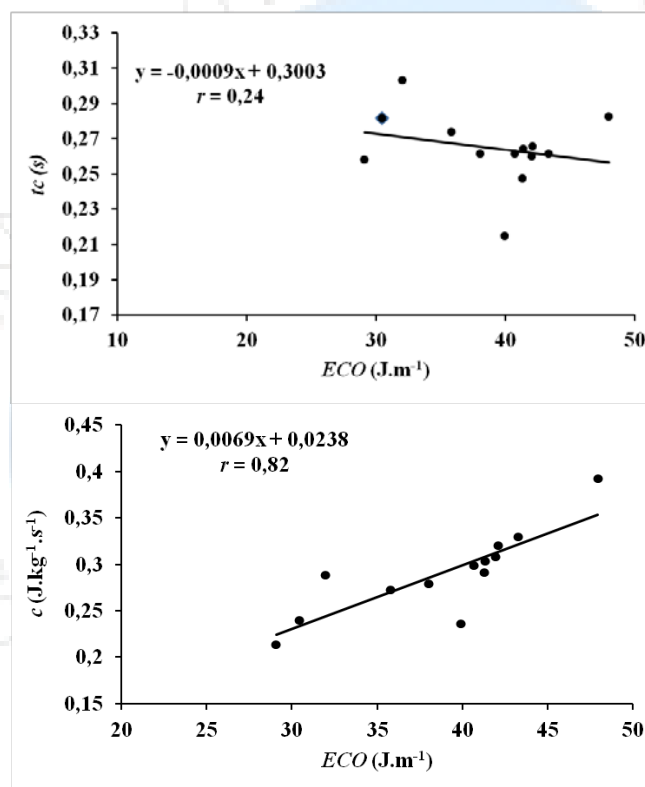
Os dados foram normalizados pelos testes de *Shapiro-Wilk* e *Levene*. Além disso, foram desenvolvidas as análises descritivas e de correlação Produto-Momento de *Pearson* ($\alpha = 0,05$). A variável espaço-temporal usada foi o tempo de contato. Elas foram determinadas no software *Dvideow* e *Excel*. O *c* foi calculado pelas equações preditivas de *Kram & Taylor* (1990), a partir dos valores obtidos através do teste laboratoriais no software *LabVIEW*, 8.5.

RESULTADOS

A *ECO* apresentou alta correlação e estatisticamente significativa com o *c* ($r=0,826$; $p=0,001$), o que de certa forma era esperado, pois o *c* foi calculado a partir das equações. Por outro lado, a *ECO* não apresentou correlação significativa com o *tc* ($r=-0,263$; $p=0,385$), o que de acordo com a teoria seria esperado. Além disso, o *c* apresentou uma correlação baixa com o *tc* ($r=0,319$; $p=0,288$)

Tabela 1 – Valores da correlação produto-momento de *Pearson* (r) entre as variáveis tc , c e ECO . Somente a correlação de c com a ECO foram significativas (** $p=0,001$). As outras correlações não foram significativas ($p>0,05$).

	ECO	c	tc
ECO	-	0,826**	-0,263
c	-	-	0,319



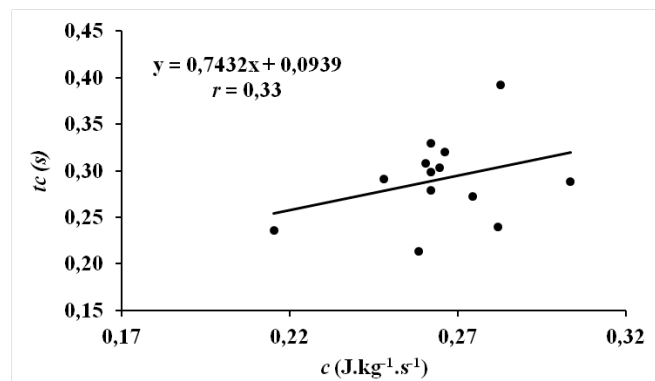


Figura 2 – Gráficos ilustrando a associação entre *tc* e *ECO* (A), *c* e *ECO* (B) e *tc* e *c* (C), e seus respectivos valores de correlação produto-momento de Pearson (*r*).

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que *tc* e *c* advindos da teoria proposta por Kram & Taylor (1990) não se associaram com a *ECO* (Figura 2). Da mesma forma, um estudo feito com corredores de *endurance*, mostrou que os fatores biomecânicos da corrida não explicam as variações da *ECO* em diferentes velocidades (KYRÖLÄINEN *et al.*, 2001). Nesse estudo, os autores analisaram o *tc*, a frequência de passada e o comprimento de passada. Em nenhuma dessas variáveis espaço-temporais obtiveram uma correlação estatisticamente significativa.

Além disso, em estudo de Roberts *et al.* (1998) mostrou as diferenças de parâmetros biomecânicos relacionados a *ECO* de quadrúpedes e bípedes. Nesse estudo ele encontrou que para animais de um mesmo peso corporal em uma mesma velocidade, bípedes possuem um dispêndio energético, quase duas vezes maior que quadrúpedes, com isso, seu *c* também era proporcional. Contudo, de acordo com a teoria de geração de força seria esperado que os *c* de animais de um mesmo peso corporal fossem iguais.

Os resultados do presente estudo comportaram-se de forma semelhante com os citados anteriormente, uma vez que não foram encontradas as correlações que eram esperadas a partir da teoria de geração de força. A baixa correlação de *tc* e *c*, por exemplo, foi devido à pequena variabilidade da variável espaço-temporal. Porém, segundo a teoria da geração de força, seria esperado uma baixa correlação devido ao *c* permanecer constante para uma mesma espécie, o que não foi encontrado no presente estudo. Afinal, a baixa correlação foi encontrada em função da baixa variabilidade de *tc*. Por conseguinte, pode-se concluir que durante a corrida de bípedes os parâmetros biomecânicos não são os mais adequados. Talvez, as respostas para as diferenças de economia de corrida possam ser encontradas em mudanças a nível celular das fibras musculares. Portanto, para corredores fundistas seria necessário o desenvolvimento de novos modelos matemáticos para prever o seu desempenho a partir da *ECO*.



VI Congresso SulBrasileiro de Ciências do Esporte

“Pensando a Educação Física Escolar e Não-Escolar: estratégias na constituição de saberes”

13 a 15 de Setembro de 2012 - FURG

REFERÊNCIAS

KRAM, R.; TAYLOR, C. R. Energetics of running: a new perspective. *Letters to Nature*, Massachusetts, v.346, p. 265-266, 1990.

ROBERTS, T. J.; KRAM, R.; WEYAND, P. G.; TAYLOR, R. Energetics of bipedal running. *The Journal of Experimental Biology*, Cambridge, v.201, p. 2745-2751 1998.

FLETCHER, J. R.; ESAU, S. P.; MACINTOSH, B. R. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology*, Maryland, v.107, p. 1918-1922, 2009.

TAYLOR, R. Force development during sustained locomotion: a determinant of gait, speed and metabolic power. *The Journal of Experimental Biology*, Cambridge, v. 115, p. 253-262, 1985.

KYRÖLÄINEN, H.; BELLI, A.; KOMI, P. V. Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Indianapolis, v. 33, n 8, p. 1330-1337, 2001.

DI PRAMPERO P. E., ATCHOU G., BRÜKNER J. C., MOIA C. The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology*, Berlin, v. 55, p. 259-266, 1986.

MILLET G. P., JAQUEN B., BORRANI F., CANDAU R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Indianapolis, v. 34, n. 8, p. 1351-1359, 2002.

TAYLOR, C. R.; HEGLUND C. N.; MCMAHONF, A. F.; LOONEY, T. R. Energetic cost of generating force during running. *The Journal of Experimental Biology*, Cambridge, v. 86, p. 9-18, 1980.

STOREN, O.; GERUD, J. H.; STOA, E. M.; HOFF, J. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Indianapolis, v. 40, n. 6, p. 1087-1092, 2008.